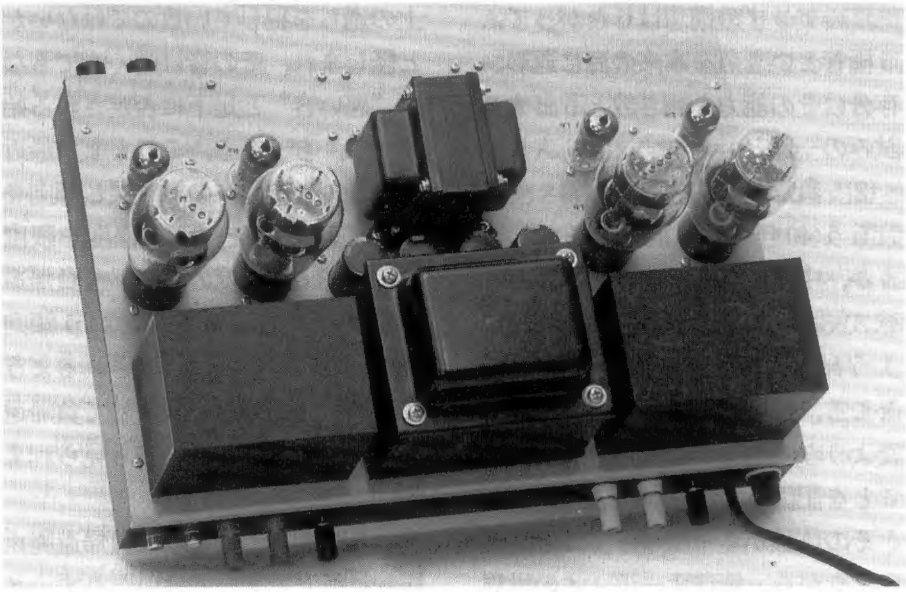
定電流源を使って５極管の性能を最大限に生かした

高利得２Ａ３PPアンプの製作⑴

金指長生



● 1段増幅ながらNF17dBをかける

私のアンプ論

⑴　５極管の本来の働き

仮に真空管による増幅機能の本質を，電圧により電流を制御する機能にあるとすれば，出力をほとんど純粋に電流の形で取り出せる５極管は，真空管技術の実らせた美しい果実であり，１つの極北であり理念的実在とさえいえるでしょう．歴史的には３極管の後から出現した５極管ですが，理念の上では，５極管に際立って現われる電圧による電流制御機能が自覚されてはじめて，電圧帰還作用の現われである３極管の電圧による電圧制御が理解されたといえます．

ところで，私たちは，オーディオの世界で５極管をその本来の姿で処遇しているでしょうか？　魚は水の中に放たれてこそその本質を充実させることができるのであり，どれだけ巧みに木登りができるかにより能力が測られるものではありません．私たちは，真空管オーディオの歴史の中で，５極管にむち打って木登りをさせていたようなことはないでしょうか？

たとえば代表的５極管である６AU６の動作例では（以下，ラジオ技術全書002「全日本真空管マニュアル」より），プレート供給電圧250 V，プレート負荷抵抗100 kΩ，スクリーン・グリッド回路抵抗270 kΩ，次段グリッド回路抵抗470 kΩとすれば，プレート電流1.74 mAに対して小信号ゲイン200倍，最大振幅は56 Vとなります．

最大限にゲインを望むオペレーションでは，プレート供給電圧250 V，プレート負荷抵抗470 kΩ，スクリーン・グリッド回路抵抗1.2 MΩ，次段グリッド回路抵抗1 MΩとして，プレート電流0.42 mAに対し，小信号ゲイン310倍，最大振幅57.5 Vとなります．

これらのオペレーションをグリッド特性上で推定すると**第１図**のようになり，最初のケースが⒜，２番目のケースが⒝です．⒜のオペレーションでは推定相互コンダクタンスは約2.42 mA/V，⒝のオペレーションで1 mA/Vです．これらは，仮に同図上で同プレート電圧，同グリッド電圧，プレート電流10 mAのオペレーション⒞で期待できる相互コンダクタンス約5 mA/V，電流振幅4 mAp-p(交流負荷100 kΩに対し，ゲイン500倍，電圧（RMS）140 V）に比べると，大きく見劣りするばかりか，ほとんどプレート電流を流さない飢餓状態で動作しますから，電流振幅は望むべくもありませんせん．

しかるべき理由の下に考案されたオペレーションとはいえ，まるで広大な沃野を前にしながら，片隅でままごと遊びをしているようなものであり，「i（電流）を，もっとiを」という真空管のうめき声が聞こえてくるようです．

これまでに発表された多くの実装においても，５極管電圧増幅段のオペレーションは，インターステージ

す．1960年代～70年代に掛けては，多くの制作記事で例外なくループ帰還が施されており，しかも試聴記で非常に高い評価を与えていたことを考えると，技術という客観的モメントでさえ，時代のムードという主観的制約から決して逃れられぬものかという，それ自身ほとんど真理というべき感慨を禁じ得ません．

多段にわたるループ帰還の問題点は，ヒステリックなNFB嫌いのいいぶんを別にすれば，これまで頻繁に指摘されて来たとおり，ひとえに高域位相回転制御の困難さにあるといえます．仮に高域位相回転が皆無であるなら，負帰還にまつわる諸問題は，問題にさえなり得なかっただろうといえます．

CR結合1段につき90°まで回転するという自然の摂理は，直結にすれば本質的に問題は生じないという低域位相回転とは異なり，多段構成をとる増幅器である限り絶対的に逃れられぬ制約といえます．

どのような世界においても常に真理であるように，困難に対して誰でも2つの態度を選択できます．第一は，その困難を避けて触れぬことであり，第二は，深い洞察を重ねてその困難の由来する原理を見極め，克服に努力することです．多くの人々がそれぞれにこれら2つの態度を選択して来ました．

ある人々は第一の道を選び，周知のように「諸悪の根元は負帰還にあり」と唱えることで，負帰還にまつわる諸問題を無視してしまいました．他方の道を選んだ別の人々は，いまなおこれら諸問題と格闘中という有様で，「華は愛惜にちり，草は棄嫌におふるのみなり」という道元の言葉を日々噛みしめます．

位相回転に対する対策は幾つかありますが，1つの伝統的対策方法が位相補償であり，積分型補償，微分型補償，根相殺法，2ポール補償などがあり，これらはすでに回転してしまった，あるいは回転しつつある位相とゲインとの関係を調整する方法です．第二の方法は，そもそも位相回転を始める（正確にいえば位相回転が問題になる）周波数を高くしたらどうだろう，というものです．いうまでもなく出力トランス段の位相回転はほとんど自由にはなりませんので，他の増幅段の回路インピーダンスを低くしてそれぞれの段の遮断周波数を高め，出力段時定数に対してスタガ比を大きくしようという考えかたです．

最後の方法は，1段当たり90°という数値が絶対的なものなら，段数を減らしたらいいだろう，という考えかたです．しかしながら，通常，3極管で15～30 dB，5極管で30～40 dBというゲインを原資として，十分なゲインを確保した上で，簡単に段数を削減できるのかという疑問が残ります．段間トランスの使用を許せばゲインの問題は片づきそうですが，トランスを含む段は通常のCR時定数とは異なってLCR時定数で解析され，CR 2段に相当する上に，ゲインを稼いだ段間トランスの特性は負帰還ループ内にとても使えた代物ではありません．

ところで，5極管本来のパワーを解き放てば，CR結合回路にもかかわらず，1段で70 dBに至る電圧ゲインを得ることが可能です．このアンプでは，低ゲインで知られた2A3 PPを終段に使用しながら総合2段アンプであり，ループ位相特性を大きく改善した上で，従来ならマイナー・ループ帰還ともいうべき小段数ループ帰還で，17 dBの負帰還を安定に実現しています．

本機の構想

以上に述べた事柄をこのアンプのモチーフとしていますが，その動機が，結局はアンプ理念の実現に無関係であるなら，木ばかりを見て森を見ぬ猟師のように，欺瞞の迷路に迷うばかりであり，意味のない試みになり終わることになります．

ここでガイド・ラインとして，いくつかの指標を立てて見ましょう．これはいやしくも技術的な試みである以上，客観的評価基準は不可欠なものと考えており，ともすれば，自己の成果に寛容に過ぎたり，不必要に辛い評価を下したりする愚を避けるためです．

オーディオの世界でも，伝統的に「音は聴いてみなければわからない」という定説があります．いうまでもなくこれは，音は，ミリボルの示針に現われたり，オシロスコープの管面に捉えられたりするものではなく，人の経験に受容されて初めて音たり得るものであるという，オーディオの基礎的モチーフを表現したものといえ，特に計測技術の向上とともに，並進するように声高に唱えられるようになりました．

好意的に見れば，ともすれば技術上の考案に流されて，“聴く”というオーディオの本質を見失いがちな傾向をたしなめ，反省的に技術を適用する契機となるべき警句であるにもかかわらず，むしろこの言葉が一人歩きを始めて，人の感覚能力は神の与え賜うた至上の妙であり，いかなる計測器もおよばぬものであるとか，音のよし悪しは決して計測されないという，いわばオーディオ神秘主義さえ産み出しています．愚かな傾向というべきでしょう．

「聴く」という行為と「計測する」という行為は，互いに排除し争う関

除すると仮定すれば，負荷は完全にアンプの出力のみに支配され，負荷からの反作用による余計な干渉を受けないことが期待できます．

いうまでもなく以上の仮定は，アンプから見た入力信号とスピーカの理念的な形態を仮定してのことであり，現実のデバイスがかならずしも期待どおりに応えることを保証するものではありませんが，アンプとスピーカというカテゴリを独立なものとして捉える限り，上記のような理念的仮定は不可避といえるでしょう．

もっとも，DF が大きいからといって無制限に制動されるものではありません．仮に DF=∞としても(つまりスピーカ端子をショートする)，抵抗があるとはいえ，スピーカ・コーンはたやすく指先で動かすことができるものであって，つまり，DF により達成できるレベルは，現実にはその程度の効果に止まるものであることを心得ておくべきでしょう．

回路構成

(1) 全体構成

回路図 (**第4図**) からわかるように，基本は2段増幅であり，簡単な構成といえます．ただし，通常構想のように初段を高 μ3 極管，位相反転を PK 分割，出力段を5極管…などと，各段ごとに回路形式を自由に選択できるわけではなく，このアンプでは回路形式はほとんどこれに固定されるといえるでしょう．詳細な理由は本稿各所で述べており割愛しますが，終段が PG 帰還であることと，初段/位相反転が5極管であること，その段の負荷に定電流源を適用していること，これらはセットとして考えます．

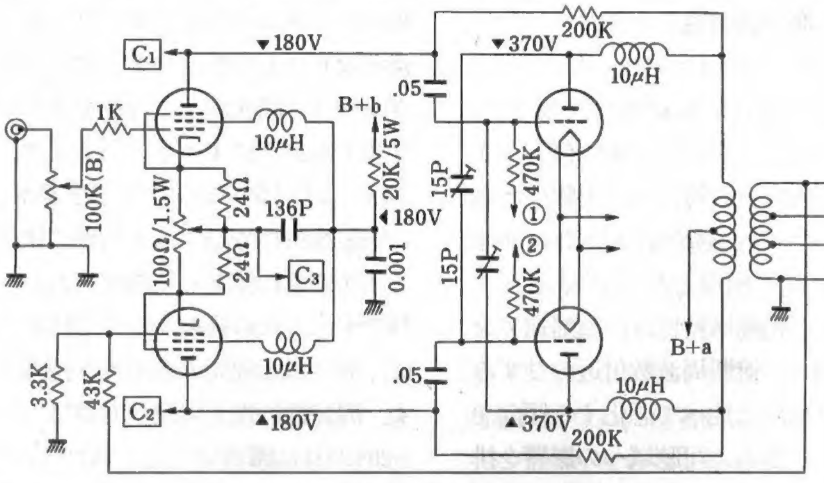
別のところで述べたように，段間を直結とする構想も魅力的ですが，初段電流源のコンプライアンスが敏感であり，バイアス・サーボを付加しなければ実用的な安定性は得られないと思われます．大量のループ帰還を目指してもう1段程度増幅段を増やすことも考えられますが，ゲイン・ダイアグラムや計測結果を見る限り，積極的な意味があるとは思えません．単に安定度に不安が増すだけでしょう．

初段/位相反転デバイスに他の5極管，たとえばごく一般的な6AU 6/6267，テレビ球の 6 BX 6/6 GM 6なども浮かび，それぞれに相応の結果を期待できるだろうと思われます．

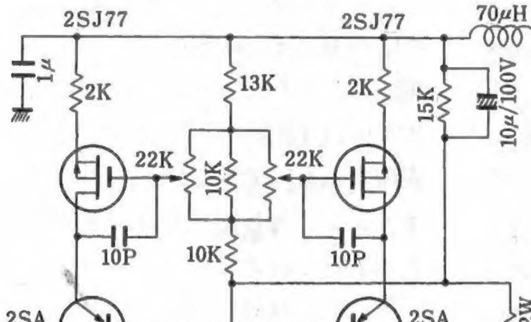
(2) レベル・プラン

ゲイン・ダイヤグラムを**第5図**に示します．ごらんのとおり，全ゲインを初段（位相反転段）でまかないます．終段では分圧の上に局部帰還を掛け，さらにトランスの降圧比を差し引いても 17 dB の余裕ができ，これをメイン・ループ帰還とします．メイン・ループといっても2段帰還ですから，通常これだけのゲインを得るのに3～4ステージ程度の増幅段を経過するのに比べれば，高域位相回転に大きな余裕が生じ，格段に安定な帰還特性が得られます．

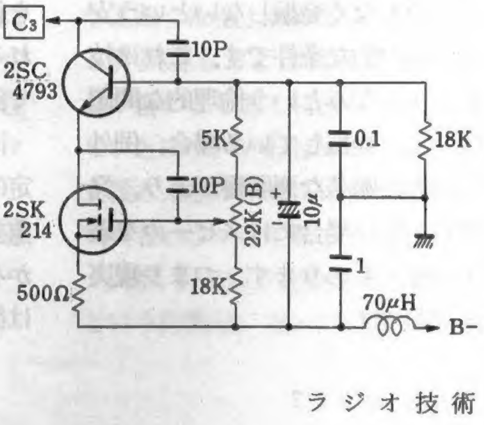
低域についてはコンデンサによる段間結合をしていますから，時定数2段となります．上述のように直結も実現しやすい回路ですが，DC サーボなしではたぶん使いものにならないでしょう．このキャパシタの存



〈第4図 a〉本機の増幅部回路（電源部は除く）



◀〈第4図 b〉増幅/位相反転部6EJ7のプレート側電流源回路（片ch分）



〈第4図 c〉▶ 6EJ7カソード側電流源回路（片ch分）

に電圧ゲインとして表示することに大きな意味はありませんが，上に示したように電圧だけに注目すれば，80 dB近くのゲイン(両管値)となり，通常の低 r_p3極管ステージなら3段～4段程度に相当すると考えられます．

⑸ 終段局部帰還

1950年代このかた，定評あるパワー・アンプの意匠として，終段単独の局部帰還に注目してよいでしょう．ウルトラリニア回路，カソード帰還回路，エレクトロボイスのCirclotron，マッキントッシュのマルチファイラーOPT，それに極めて一般的となった3極管接続と，いずれも高品位な音質としてオーディオの歴史に足跡を残しています．

これらの回路のほとんどは，出力トランスの巻線を工夫しトランスを介した局部帰還であって，直流電源の独立，帰還比の任意性などの自由度は高いといえますが，他方では電磁的変換に媒介された帰還であり，その媒介過程に付随する特有の伝達特性は，依然としてアンコントローラブルな部分が残ります(もっともこれは逆に，鉄と磁気が特有の音楽精神を作り出すのだという，出力トランス原理主義をも助長しましたが)．

いずれにしても，局部帰還として捉える限り，神秘的な精神性を除けばPG帰還で不都合はないはずであり，むしろ電磁的変換過程を含まないぶん，より直截な制御が期待できます．また出力トランスにオプショナルな巻線を必要としないことも大きなメリットとして挙げられ，さらに，たとえばUL接続とは異なり3極管にも適用可能です．

広く承認されていることですが，終段局部帰還の主要な効果は，第一に出力インピーダンスの低下が挙げられます．2A3が低 R_p であることは周知のことですが，私にとっては，代表的な2A3無帰還アンプの示すDF2前後という値は不満であって，このアンプでは，出力トランスを介しないPG局部帰還のみの場合，帰還率$(\beta)\fallingdotseq 0.58$，負帰還量$(1+A\beta)\fallingdotseq 2.75$を得，これによりDF≒4.9 (1 kHz: ON/OFF法)を得ています(もっとも，この値でもまだ不満ですが)．

第2に，高域特性の改善が挙げられます．出力トランスを含む出力段の高域特性は，周波数の上昇とともに極めて複雑な推移を示すことが知られており，これが出力トランスを内に含むループ負帰還の限界を定める決定的要素である，と一般的に承知されています．

いうまでもなく局部帰還によってもこの限界を超越することは不可能ですが，平坦部からパス・バンド末端にかけての挙動は，出力管の出力抵抗，負荷抵抗，集中定数モデルで表わしたトランスの分布容量および漏洩インダクタンス，これらの成す複合インピーダンス特性として表わすことができ，式を立てての解析は省略しますが，局部帰還による出力インピーダンスの低下や，帰還そのものの効果，および先に触れたミラー容量の低減効果などにより，出力段としての高域側パス・バンド末端部特性は改善します．このことは，ループ帰還の安定性に大きく寄与することになります．

PG帰還にはまた，単に局部帰還としての意味に留まらない重要な機能があります．すでに述べたように，この回路は電流→電圧変換回路であり，また一方で前述のように位相反転段は電流出力形式であり，他方でスピーカ・システムは，理念上に曖昧さはあるものの，基本的に電圧信号をハンドリングするようにできていますから，終段のオペレーションに電流→電圧変換機能を求めることは機能上の必然といえます．

⑹ 2A3採用の理由

ところで，本アンプは終段に2A3PPを採用しています．周知のとおり2A3は，古典球と近代球(仮にこのような歴史的分節が可能として)の狭間に登場した，類いまれな人気を誇る真空管です．近代的な視点から見れば，電流制御能力は平凡でありながら大きなドライブ電圧を必要とする，直熱管ゆえにグリッド電流の流れやすい，使いづらい球として観念されていますが，他方，古典球からみれば，それぞれの指標においてまったく逆の評価が下されます．

しかし総じて音のよい真空管としての評価は誰もが認めるようであり，いまでは入門者向けの定番の1つでさえあります．

通常この2A3PPをドライブするのに，古典的には2段程度の電圧増幅のあとトランスを使用しますが，近代的なCR結合では，だいたいにおいて2段～3段の増幅段にカソード・フォロワを付加することもある，という回路構成を採るようです．

この球を採用した理由は，第一に，スタンダードとして認知されている3極出力管を使用して，従来の回路に比較してどのような音質上のメリットを得られるかを期待するものであり，第二に，私の知る限り中程度の負帰還(20 dB程度まで)を施しながら2A3PPをCR結合単段でドライブした例は見あたりませんので，本アンプの形式が「十分に使いものになる」ことを証明したい，という意味もあります．　(つづく)